

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-288574

(43)公開日 平成8年(1996)11月1日

(51)Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/07			H 0 1 S 3/07	
G 0 2 F 1/35	5 0 1		G 0 2 F 1/35	5 0 1
H 0 1 S 3/094			H 0 1 S 3/10	Z
			3/094	S

審査請求 未請求 請求項の数10 O.L (全 6 頁)

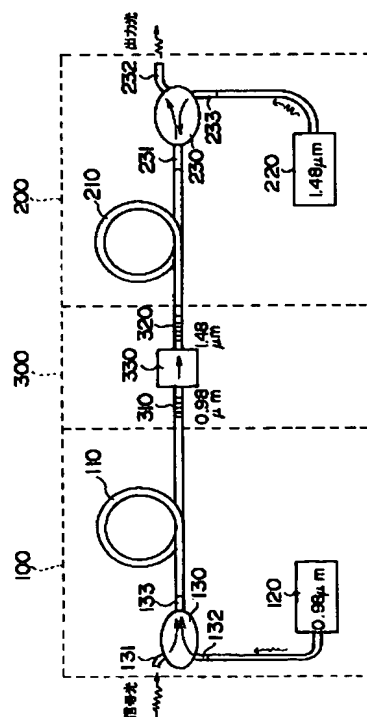
(21)出願番号	特願平7-90894	(71)出願人	000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(22)出願日	平成7年(1995)4月17日	(72)発明者	角井 素貴 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
		(74)代理人	弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54) 【発明の名称】 光ファイバ増幅器

(57) 【要約】

【目的】 高出力特性と同時に低雑音特性を備える光ファイバ増幅器を提供する。

【構成】 第1の波長を有する第1の励起光と信号光とを入力して信号光を増幅して出力する、第1の希土類元素が添加された第1の増幅用光ファイバ110を備える第1の光増幅部100と、第2の波長を有する第2の励起光と第1の光増幅部から出力された光とを入力して信号光を増幅して出力する、第2の希土類元素が添加された第2の増幅用光ファイバ210を備える第2の光増幅部200と、第1の光増幅部と第2の光増幅部との間の光路中に配設された、第1の波長の光を反射する第1の反射部310および第2の波長の光を反射する第2の反射部320の少なくともいずれか一方を反射する反射部300とを備える



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の波長を有する第1の励起光と信号光とを入力して前記信号光を増幅して出力する、第1の希土類元素が添加された第1の増幅用光ファイバを備える第1の光増幅部と、

第2の波長を有する第2の励起光と前記第1の光増幅部から出力された光とを入力して前記信号光を増幅して出力する、第2の希土類元素が添加された第2の増幅用光ファイバを備える第2の光増幅部と、

前記第1の光増幅部と前記第2の光増幅部との間の光路中に配設された、前記第1の波長の光および前記第2の波長の光の少なくともいずれか一方を反射する反射部と、

を備えることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項2】 前記第1の光増幅部では、前記第1の励起光が前記信号光の進行方向と同一の進行方向で前記第1の増幅用光ファイバに入射され、前記反射部は前記第1の波長の光を反射する第1の反射部を備える、ことを特徴とする請求項1記載の光ファイバ増幅器。

【請求項3】 前記第1の反射部はファイバ型回折格子を備える、ことを特徴とする請求項2記載の光ファイバ増幅器。

【請求項4】 前記反射部は、前記第1の光増幅部から出力された光の光路上の前記第1の反射部の下流側に、前記第1の光増幅部から前記第2の光増幅部へ進行する光を透過するとともに、前記第2の光増幅部から前記第1の光増幅部へ進行する光を遮断する光アイソレータを更に備える、ことを特徴とする請求項2記載の光ファイバ増幅器。

【請求項5】 前記第2の光増幅部では、前記第2の励起光が前記信号光の進行方向とは逆の進行方向で入射され、前記反射部は前記第2の波長の光を反射する第2の反射部を備える、ことを特徴とする請求項1記載の光ファイバ増幅器。

【請求項6】 前記第2の反射部はファイバ型回折格子を備える、ことを特徴とする請求項5記載の光ファイバ増幅器。

【請求項7】 前記反射部は、前記第1の光増幅部から出力された光の光路上の前記第2の反射部の上流側に、前記第1の光増幅部から前記第2の光増幅部へ進行する光を透過するとともに、前記第2の光増幅部から前記第1の光増幅部へ進行する光を遮断する光アイソレータを更に備える、ことを特徴とする請求項5記載の光ファイバ増幅器。

【請求項8】 前記希土類元素はErである、ことを特徴とする請求項1記載の光ファイバ増幅器。

【請求項9】 前記第1の波長は0.98μmであり、前記第2の波長は1.48μmである、ことを特徴とする請求項8記載の光ファイバ増幅器。

【請求項10】 前記第1の光増幅部では、前記第1の

励起光が前記信号光の進行方向と逆の進行方向で前記第1の増幅用光ファイバに入射され、前記信号光の光路上、前記第1の増幅ファイバよりも上流側に配設された、前記第1の波長の光を反射する第3の反射部を更に備える、ことを特徴とする請求項1記載の光ファイバ増幅器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光通信システムなどで使用される光ファイバ増幅器に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 動作エネルギーが光の形態で供給され、入力した信号光を増幅して出力する光ファイバ増幅器が光通信システムを中心に使用されている。特に、Erなどの希土類元素が添加された光ファイバを使用した光ファイバ増幅器は、高速性および低ノイズ性で優れており、研究・開発が活発に行われている。

【0003】 こうした光ファイバ増幅器をAM/FDM多チャンネル伝送システムの場合には、高出力特性と同時に低雑音特性が要求される。この点で、1.55μm帯の信号光の増幅にあたっては、例えばErを添加した増幅用光ファイバを2本直列に接続したハイブリッド型光ファイバ増幅器で、前段の増幅用光ファイバの励起光の波長として0.98μmを使用し、後段の増幅用光ファイバの励起光の波長としておおよそ1.48μmを使用することが有利であることが知られており、様々な構成が検討されている（「青木他、1991年電子情報通信学会秋季大会、B-616」、「M.D.Delavaux et al., Electron. Lett., Vol.28, No.17, pp.1642-1643, 1992」など）。

【0004】 図3は、こうした光ファイバ増幅器の代表的な構成図である。図3に示すように、この装置（以後、従来例1とも呼ぶ）は、(a) Er添加の増幅用光ファイバ911を有し、波長=0.98μmの励起光を前方励起法で使用する前段増幅部910と、(b) Er添加の増幅用光ファイバ911を有し、波長=1.48μmの励起光を後方励起法で使用する、前段増幅部910と接続された後段増幅部920とを備える。この装置では、前段増幅部910で、波長=0.98μmの励起光による前方励起法による低雑音性の光増幅を行い、後段増幅部920で、波長=1.48μmの励起光による後方励起法による高出力性の光増幅を行う。

【0005】 また、図4は、「光田他、1993年電子情報通信学会春季大会、C-297」で提案された光ファイバ増幅器（以後、従来例2とも呼ぶ）の構成図である。この装置は、従来例1の装置の構成に加えて、

(c) 前段増幅部910と後段増幅部920との間に配設された光アイソレータ930を更に備える。この装置では、光アイソレータ930が、波長=1.48μmの励起光の前段増幅部910への混入を防止しつつ、従来

## 3

例1と同様に、前段増幅部910で、波長=0.98 $\mu$ mの励起光による前方励起法による低雑音性の光増幅を行い、後段増幅部920で、波長=1.48 $\mu$ mの励起光による後方励起法による高出力性の光増幅を行う。

【0006】なお、従来例2で使用される光アイソレータは、波長=1.55 $\mu$ m帯の信号光用のアイソレータであり、波長=0.98 $\mu$ mの光を透過させず、殆どを吸収する。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来の光ファイバ増幅器は上記のように構成されるので、以下のような問題点があった。

【0008】従来例1では、後段増幅部の励起用の波長=1.48 $\mu$ mの光が前段増幅部に混入するので、波長=0.98 $\mu$ mの励起光が波長=1.48 $\mu$ mの光の増幅に消費され、雑音指数(NF)が悪化するという問題点があった。

【0009】従来例2では、波長=0.98 $\mu$ mの励起光が増幅用として使用される量は、光源から出力された波長=0.98 $\mu$ mの励起光の内、前段増幅部の増幅用光ファイバを経由する1回の経路で吸収された分であり、また、波長=1.48 $\mu$ mの励起光が増幅用として使用される量は、光源から出力された波長=1.48 $\mu$ mの励起光の内、後段増幅部の増幅用光ファイバを経由する1回の経路で吸収された分である。したがって、夫々の励起光源から出力される励起光のパワーが有効に使用されない。

【0010】本発明は、上記を鑑みてなされたものであり、高出力特性と同時に低雑音特性を備える光ファイバ増幅器を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明の光ファイバ増幅器は、(a)第1の波長を有する第1の励起光と信号光とを入力して信号光を増幅して出力する、第1の希土類元素が添加された第1の増幅用光ファイバを備える第1の光増幅部と、(b)第2の波長を有する第2の励起光と第1の光増幅部から出力された光とを入力して信号光を増幅して出力する、第2の希土類元素が添加された第2の増幅用光ファイバを備える第2の光増幅部と、

(c)第1の光増幅部と第2の光増幅部との間の光路中に配設された、第1の波長の光および第2の波長の光の少なくともいずれか一方を反射する反射部と、を備えることを特徴とする。

【0012】第1の光増幅部では、第1の励起光が信号光の進行方向と同一の進行方向で第1の増幅用光ファイバに入射され、反射部は第1の波長の光を反射する第1の反射部を備えることが可能である。ここで、第1の反射部は、第1の波長を反射するファイバ型回折格子を備えることとすることができる。また、反射部は、第1の光増幅部から出力された光の光路上の第1の反射部の下

## 4

流側に、第1の光増幅部から第2の光増幅部へ進行する光を透過するとともに、前記第2の光増幅部から前記第1の光増幅部へ進行する光を遮断する光アイソレータを更に備えてもよい。

【0013】また、第2の光増幅部では、第2の励起光が信号光の進行方向とは逆の進行方向で入射され、反射部は第2の波長の光を反射する第2の反射部を備えることが可能である。ここで、第2の反射部は、第2の波長を反射するファイバ型回折格子を備えることとすることができる。また、反射部は、第1の光増幅部から出力された光の光路上の第2の反射部の上流側に、第1の光増幅部から第2の光増幅部へ進行する光を透過するとともに、第2の光増幅部から第1の光増幅部へ進行する光を遮断する光アイソレータを更に備えてもよい。

【0014】また、希土類元素はErとすることができる。この場合には、第1の波長を0.98 $\mu$ mとし、第2の波長を1.48 $\mu$ mとすることが好適である。

【0015】また、第1の光増幅部では、第1の励起光が前記信号光の進行方向と逆の進行方向で前記第1の増幅用光ファイバに入射され、信号光の光路上、第1の増幅ファイバよりも上流側に配設された、第1の波長の光を反射する第3の反射部を更に備えることが可能である。

【0016】

【作用】本発明の光ファイバ増幅器では、第1の光増幅部では第1の波長の励起光が第1の増幅用光ファイバに供給されて光増幅可能状態になるとともに、第2の光増幅部では第2の波長の励起光が第1の増幅用光ファイバに供給されて光増幅可能状態になる。そして、第1の励起光または第2の励起光の少なくとも一方は、反射部で反射され、再び第1の増幅用光ファイバまたは第2の増幅用光ファイバを進行し、その光増幅に寄与する。また、反射部で反射される波長の光は、他方の光増幅部には混入しない。

【0017】たとえば、反射部が第1の波長を反射する第1の反射部を備えれば、第1の光増幅部では第1の波長の第1の励起光を効率よく使用できるとともに、第2の光増幅部に第1の励起光が混入しない態様となる。また、反射部が第2の波長を反射する第2の反射部を備えれば、第2の光増幅部では第2の波長の第2の励起光を効率よく使用できるとともに、第1の光増幅部に第2の励起光が混入しない態様となる。したがって、反射部が第1の反射部と第2の反射部との双方を備えれば、双方の光増幅部では夫々の励起光が効率よく使用されるとともに、双方の光増幅部では励起光の混入が発生しない。こうした、反射部は、ファイバ型回折格子を用いて好適に構成できる。

【0018】なお、第1の反射部は、第1の励起光が信号光の進行方向と同一の進行方向で第1の増幅用光ファイバに入射される場合に特に有効に作用する。また、第

## 5

2の反射部は、第2の励起光が信号光の進行方向と逆の進行方向で第2の増幅用光ファイバに入射される場合に特に有効に作用する。

【0019】こうして、増幅可能状態になった光ファイバ増幅器に第1の光増幅部側から信号光が入射すると、前段増幅部である第1の増幅部における第1の増幅用光ファイバの第1の励起光による励起状態に応じた光増幅が行われる。第1の光増幅部から出力された増幅された信号光は、反射部を介して、後段増幅部である第2の光増幅部に入射する。第2の増幅部における第2の増幅用光ファイバの第2の励起光による励起状態に応じた光増幅が更に行われ、光ファイバ増幅器の出力光として出射される。

【0020】増幅用光ファイバとしては、信号光が1.55 $\mu\text{m}$ 帯の波長の場合、Er添加の光ファイバが好適に使用できる。この場合には、低雑音性の増幅のために第1の波長=0.98 $\mu\text{m}$ とし、高出力性のために第2の波長=1.48 $\mu\text{m}$ とすることが好適である。

【0021】

【実施例】以下、添付図面を参照して本発明の光ファイバ増幅器の実施例を説明する。なお、図面の説明にあたって同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0022】(第1実施例) 図1は、本発明の第1実施例の光ファイバ増幅器の構成図である。図1に示すように、この装置は、(a)波長=0.98 $\mu\text{m}$ を有する第1の励起光と信号光とを入力して信号光を増幅して出力する、Erが900ppmだけ添加され、長さ=5mのAl-Ge共添加光ファイバ110を備える光増幅部100と、(b)波長=1.48 $\mu\text{m}$ を有する第2の励起光と光増幅部100から出力された光とを入力して信号光を増幅して出力する、Erが900ppmだけ添加され、長さ=7mのAl-Ge共添加光ファイバ210を備える光増幅部200と、(c)光増幅部100と光増幅部200との間の光路中に配設された、波長=0.98 $\mu\text{m}$ の光および波長=1.48 $\mu\text{m}$ の光の双方を反射する反射部300とを備える。

【0023】光増幅部100は、光ファイバ110に加えて、①励起パワー=25mW、波長=0.98 $\mu\text{m}$ の励起光を発生する光源120と、②波長=0.98 $\mu\text{m}$ の励起光を端子131から入力するとともに、信号光を端子132から入力し、合波して光ファイバ110へ向けて端子133から出力する方向性結合器130とを備える。

【0024】光増幅部200は、光ファイバ210に加えて、①波長=1.48 $\mu\text{m}$ の励起光を発生する光源220と、②光ファイバ210から出力された光を端子211から入力して端子212から出力するとともに、波長=1.48 $\mu\text{m}$ の励起光を端子213から入力し、端子211から光ファイバ210へ向けて出力する方向性

## 6

結合器230とを備える。

【0025】反射部300は、①波長=0.98 $\mu\text{m}$ の光を反射するファイバ型回折格子310と、②波長=1.48 $\mu\text{m}$ の光を反射するファイバ型回折格子320と、③ファイバ型回折格子310とファイバ型回折格子320との間に配設された、ファイバ型回折格子310側からの信号光は透過し、ファイバ型回折格子320側からの光は遮断する光アイソレータ330とを備える。

【0026】なお、光源120、220の発生する励起光の波長が幅を有する場合には、ファイバ型回折格子310、320は、その幅に応じて反射波長について幅を有するものを用意する。たとえば、回折格子の格子ピッチが変化しているファイバ型回折格子を使用する。

【0027】本実施例の光ファイバ増幅器は、以下のようにして信号光を増幅する。なお、信号光は、波長=1558nm、強度=3dBmとする。

【0028】まず、光増幅部100においては、光源120が波長=0.98 $\mu\text{m}$ の励起光を発生する。光源120から出力された励起光は、方向性結合器130を介して、光ファイバ110に入力し、光ファイバ110中を進行する。この進行中にErを励起して反転分布を形成する。光ファイバ110から出力された励起光は、反射部300のファイバ型回折格子310で反射され、再び光ファイバ110に入力し、光ファイバ110中を進行し、Erを励起して反転分布を形成する。

【0029】上記と同時に、光増幅部200においては、光源220が波長=1.48 $\mu\text{m}$ の励起光を発生する。光源220から出力された励起光は、方向性結合器230を介して、光ファイバ210に入力し、光ファイバ210中を進行する。この進行中にErを励起して反転分布を形成する。光ファイバ210から出力された励起光は、反射部300のファイバ型回折格子320で反射され、再び光ファイバ210に入力し、光ファイバ210中を進行し、Erを励起して反転分布を形成する。

【0030】以上のようにして、光増幅が可能なる状態が設定される。この状態で、信号光が光増幅部100に入力すると、信号光は方向性結合器130を介して光ファイバ110に入力し、光ファイバ110中を進行する。この進行中に、信号光には光ファイバ110中に形成された反転分布に応じた光増幅が施される。光ファイバ110から出力された増幅された信号光は、反射部300を介して光増幅部200に入力し、光ファイバ210中を進行する。この進行中に、信号光には光ファイバ210中に形成された反転分布に応じた光増幅が更に施される。光ファイバ210から出力された増幅された信号光は、方向性結合器230を介して、光ファイバ増幅器の出力光として出力する。

【0031】本実施例の光ファイバ増幅器の光増幅特性は、変換効率(=信号光出力強度/励起光入力強度)=63.8%あり、雑音指数=4.43dBであった。

## 7

【0032】本発明の有効性を確認するため、本実施例の光ファイバ増幅器からファイバ型回折格子 310、320を除いた構成、すなわち、従来例 2 の構成で、同一条件もとで、光増幅特性を測定した。この結果は、変換効率=45.5%あり、雑音指数=5.02dBであった。すなわち、本実施例では、変換効率で約18%、雑音特性=0.6dBという大幅な改善が達成されることが確認された。

【0033】(第2実施例)図2は、本発明の第2実施例の光ファイバ増幅器の構成図である。この装置は、前段増幅部と反射部とが第1実施例と異なる。

【0034】図2に示すように、本実施例の装置は、

(a) 波長=0.98 $\mu$ mを有する第1の励起光と信号光とを入力して信号光を増幅して出力する、Erが900ppmだけ添加され、長さ=5mのAl-Ge共添加光ファイバ110を備える光増幅部150と、(b) 波長=1.48 $\mu$ mを有する第2の励起光と光増幅部100から出力された光とを入力して信号光を増幅して出力する、Erが900ppmだけ添加され、長さ=7mのAl-Ge共添加光ファイバ210を備える光増幅部200と、(c) 光増幅部100と光増幅部200との間の光路中に配設された、波長=1.48 $\mu$ mの光を反射する反射部350とを備える。

【0035】前段増幅部である光増幅部150は、光ファイバ110に加えて、①励起パワー=25mW、波長=0.98 $\mu$ mの励起光を発生する光源120と、②信号光を端子161から入力して端子162から出力するとともに、波長=0.98 $\mu$ mの励起光を端子163から入力して端子161から光ファイバ110へ向けて出力する方向性結合器160と、③光ファイバ110の信号光入力側に配設された波長=0.98 $\mu$ mの光を反射するファイバ型回折格子170とを備える。

【0036】反射部350は、①波長=1.48 $\mu$ mの光を反射するファイバ型回折格子320と、②ファイバ型回折格子320に対して光増幅部150側に配設された、光増幅部150側からの信号光は透過し、ファイバ型回折格子320側からの光は遮断する光アイソレータ330とを備える。

【0037】なお、第1実施例と同様に、光源120、220の発生する励起光の波長が幅を有する場合には、ファイバ型回折格子310、320は、その幅に応じて反射波長について幅を有するものを用意する。

【0038】本実施例の光ファイバ増幅器は、以下のようにして信号光を増幅する。なお、信号光は、波長=1558nm、強度=3dBmとする。

【0039】まず、光増幅部100においては、光源120が波長=0.98 $\mu$ mの励起光を発生する。光源120から出力された励起光は、方向性結合器130を介して、光ファイバ110に入力し、光ファイバ110中を進行する。この進行中にErを励起して反転分布を形

## 8

成する。光ファイバ110から出力された励起光は、ファイバ型回折格子170で反射され、再び光ファイバ110に入力し、光ファイバ110中を進行し、Erを励起して反転分布を形成する。

【0040】上記と同時に、第1実施例と同様に、光増幅部200においては、光源220が波長=1.48 $\mu$ mの励起光を発生する。光源220から出力された励起光は、方向性結合器230を介して、光ファイバ210に入力し、光ファイバ210中を進行する。この進行中にErを励起して反転分布を形成する。光ファイバ210から出力された励起光は、反射部300のファイバ型回折格子320で反射され、再び光ファイバ210に入力し、光ファイバ210中を進行し、Erを励起して反転分布を形成する。

【0041】以上のようにして、光増幅が可能な状態が設定される。この状態で、信号光が光増幅部100に入力すると、ファイバ型回折格子170を介して、信号光は光ファイバ110に入力し、光ファイバ110中を進行する。この進行中に、信号光には光ファイバ110中に形成された反転分布に応じた光増幅が施される。光ファイバ110から出力された増幅された信号光は、方向性結合器160および反射部350を介して光増幅部200に入力し、光ファイバ210中を進行する。この進行中に、第1実施例と同様に、信号光には光ファイバ210中に形成された反転分布に応じた光増幅が更に施される。光ファイバ210から出力された増幅された信号光は、方向性結合器230を介して、光ファイバ増幅器の出力光として出力する。

【0042】本実施例では、光ファイバ110には方向性結合器を介さずに、信号光が入力するので、方向性結合器の経路によるノイズの発生が信号光の強度が低い時点では発生せず、第1実施例よりも更に低雑音性を高めることができる。

【0043】本発明は、上記の実施例に限定されるものではなく変形が可能である。例えば、上記実施例は反射部で光アイソレータを使用したのが、除去することが可能である。

【0044】また、添加希土類元素などの増幅用光ファイバの態様、励起光源の態様は、信号光の特性や得たい増幅率に応じて変更することが可能である。

【0045】また、ファイバ型回折格子に替えて、他の波長選択反射光学部品を使用することも可能である。

【0046】

【発明の効果】以上、詳細に説明した通り、本発明の光ファイバ増幅器によれば、増幅用光ファイバを2本直列に接続したハイブリッド型光ファイバ増幅器で、前段の増幅用光ファイバの励起光の波長と第1の波長を使用し、後段の増幅用光ファイバの励起光の波長として第2の波長を使用するとともに、これらの増幅用光ファイバの間に第1の波長または第2の波長の少なくとも一方の

光は、反射部で反射され、再び前段の増幅用光ファイバまたは後段の増幅用光ファイバを進行し、その光増幅に寄与し、増幅率を向上する。また、反射部で反射される波長の光は、他方の光増幅部には混入しないので、低雑音で光増幅が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 実施例の光ファイバ増幅器の構成図である。

【図 2】 本発明の第 2 実施例の光ファイバ増幅器の構成

図である。

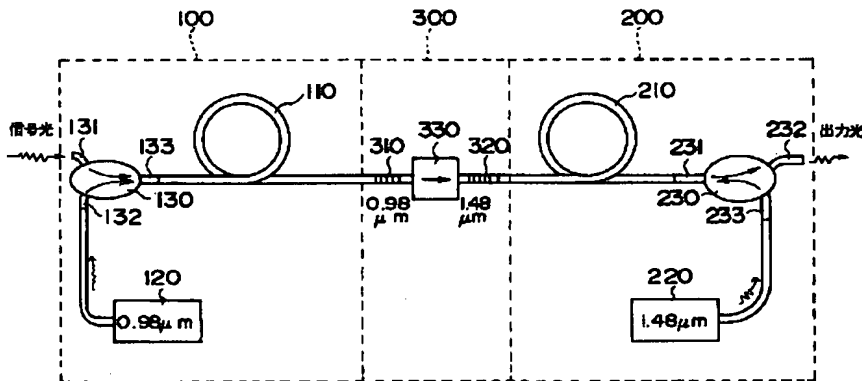
【図 3】 従来例 1 の光ファイバ増幅器の構成図である。

【図 4】 従来例 2 の光ファイバ増幅器の構成図である。

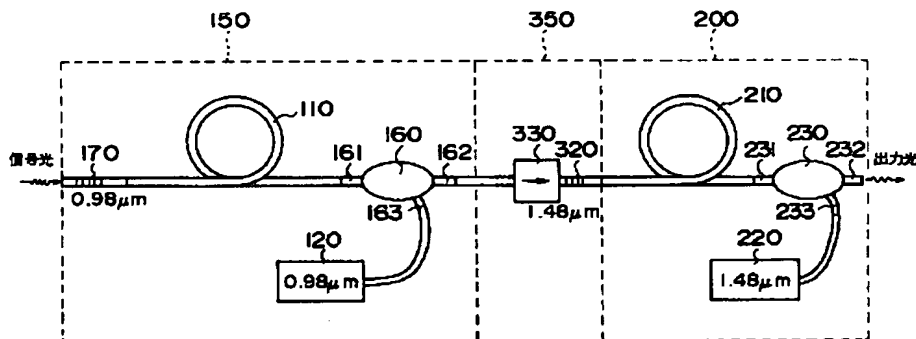
【符号の説明】

100, 150, 200…光増幅部、110, 210…増幅用光ファイバ、120, 220…光源、130, 160, 230…方向性結合器、300…反射部、310, 320, 170…ファイバ型回折格子、330…光アイソレータ

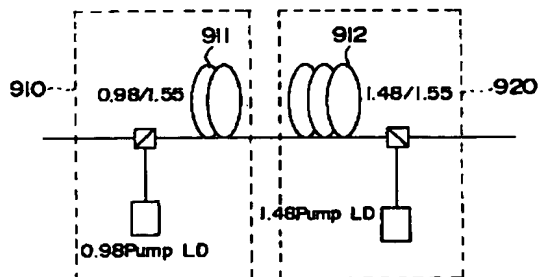
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【図 4】

